

# Mestrado Próprio

## Mecânica dos Fluidos Computacional





## Mestrado Próprio Mecânica dos Fluidos Computacional

- » Modalidade: online
- » Duração: 12 meses
- » Certificado: TECH Universidade Tecnológica
- » Dedicção: 16h/semana
- » Horário: no seu próprio ritmo
- » Provas: online

Acesso ao site: [www.techtute.com/br/informatica/mestrado-proprio/mestrado-proprio-mecanica-fluidos-computacional](http://www.techtute.com/br/informatica/mestrado-proprio/mestrado-proprio-mecanica-fluidos-computacional)

# Índice

01

Apresentação

---

*pág. 4*

02

Objetivos

---

*pág. 8*

03

Competências

---

*pág. 14*

04

Direção do curso

---

*pág. 18*

05

Estrutura e conteúdo

---

*pág. 22*

06

Metodologia

---

*pág. 34*

07

Certificado

---

*pág. 42*

# 01

# Apresentação

O uso de métodos numéricos e algoritmos para analisar e resolver problemas que envolvem fluxos de fluidos está se tornando cada vez mais comum. A Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD) é uma técnica que envolve uma ampla variedade de demanda por profissionais qualificados na área é a razão pela qual a TECH desenvolveu este programa de formação, que visa capacitar os alunos para se destacarem com sucesso no setor. Tudo isso é oferecido em uma modalidade 100% online, abordando tópicos essenciais como modelagem de turbulência de fluidos, fluxo multifásico e simulação do futuro da CFD, entre outros.





“

*Torne-se um especialista em simulação CFD em apenas alguns meses e com total liberdade de organização”*

A Mecânica dos Fluidos Computacional abrange uma ampla variedade de ciências, como Matemática, Ciência da Computação, Engenharia e Física. Essa técnica usa métodos numéricos e algoritmos para estudar e resolver as diferentes dificuldades que podem surgir na simulação do movimento de fluidos. Por isso, os profissionais que desenvolvem o seu trabalho nesta área necessitam de competências e conhecimentos muito avançados em algoritmos, métodos e modelos que compõem um simulador.

Essa é a razão pela qual a TECH criou este Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos Computacional, para fornecer aos alunos habilidades e conhecimentos especializados em simulação CFD, com os quais eles podem enfrentar uma carreira futura bem-sucedida nessa área. Assim, os materiais didáticos abrangem tópicos como a origem da turbulência, modelagem de CFD, matemática avançada para CFD, inteligência artificial, contornos móveis e simulações multifísicas, entre muitos outros.

Tudo isso, dando ao aluno total liberdade para adaptar seu horário e seus estudos, conciliando todo o conteúdo com suas outras obrigações profissionais e pessoais, graças a uma modalidade 100% online, além dos materiais multimídia mais dinâmicos, informações extraídas das fontes mais rigorosas e atualizadas, bem como a metodologia de ensino mais eficiente.

Este **Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos Computacional** conta com o conteúdo mais completo e atualizado do mercado. Suas principais características são:

- ◆ O desenvolvimento de estudos de caso apresentados por especialistas em Mecânica dos Fluidos Computacional.
- ◆ O conteúdo gráfico, esquemático e extremamente prático fornece informações atuais sobre aquelas disciplinas que são essenciais para o exercício profissional
- ◆ Exercícios práticos onde o processo de autoavaliação é realizado para melhorar a aprendizagem
- ◆ Destaque especial para as metodologias inovadoras
- ◆ Lições teóricas, perguntas a especialistas, fóruns de discussão sobre temas controversos e trabalhos de reflexão individual
- ◆ Disponibilidade de acesso a todo o conteúdo a partir de qualquer dispositivo, fixo ou portátil, com conexão à Internet



*Adquira o conhecimento mais abrangente em CFD e impulsione seu perfil profissional em um dos setores mais promissores de TI"*

“

*Graças ao material teórico e prático mais atualizado, você poderá aprender sobre todos os desenvolvimentos mais recentes no campo da Mecânica dos Fluidos Computacional”*

O corpo docente do curso conta com profissionais do setor, que transferem toda a experiência adquirida ao longo de suas carreiras para esta capacitação, além de especialistas reconhecidos de sociedades de referência e universidades de prestígio.

O conteúdo multimídia, desenvolvido com a mais recente tecnologia educacional, permitirá ao profissional uma aprendizagem contextualizada, ou seja, realizada através de um ambiente simulado, proporcionando uma capacitação imersiva e programada para praticar diante de situações reais.

A estrutura deste programa se concentra na Aprendizagem Baseada em Problemas, através da qual o profissional deverá resolver as diferentes situações de prática profissional que surgirem ao longo do curso acadêmico. Para isso, contará com a ajuda de um inovador sistema de vídeo interativo realizado por especialistas reconhecidos.

*Aproveite todas as informações especializadas sobre fluidos compressíveis e fluxo multifásico para ampliar seu conhecimento sobre o assunto.*

*Acesse todo o conteúdo desde o primeiro dia e adquira novas habilidades em modelagem de turbulência de fluidos.*



# 02

# Objetivos

O objetivo deste Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos Computacional é proporcionar aos alunos a capacidade de trabalhar no setor como usuários avançados e desenvolvedores de ferramentas de CFD. Tudo isso, graças ao conteúdo mais completo, dinâmico e atualizado do mercado acadêmico.



“

*Especialize-se em uma das áreas mais promissoras de TI e destaque-se por suas novas habilidades, graças à TECH”*



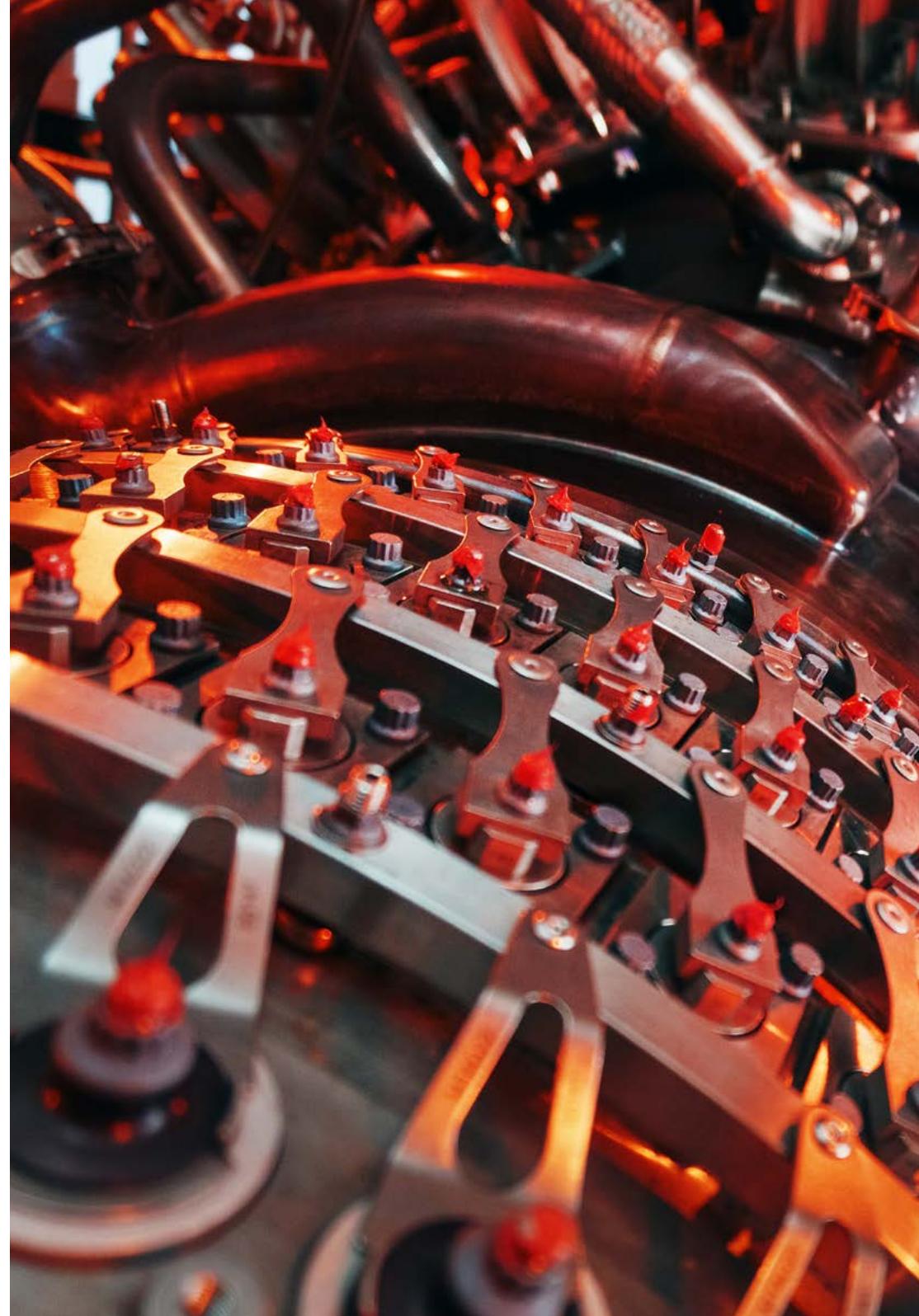
## Objetivos gerais

---

- ◆ Estabelecer as bases do estudo da turbulência
- ◆ Desenvolver os conceitos estatísticos do CFD (fluidodinâmica computacional)
- ◆ Determinar as principais técnicas de computação na pesquisa de turbulência
- ◆ Adquirir conhecimentos especializados no método dos Volumes Finitos
- ◆ Adquirir conhecimento especializado em técnicas de cálculo de Mecânica dos Fluidos
- ◆ Examinar as unidades de parede e as diferentes regiões de um fluxo turbulento de parede
- ◆ Determinar as características próprias de fluxos compressíveis
- ◆ Examinar os múltiplos modelos e métodos multifísicos
- ◆ Desenvolver conhecimentos especializados em múltiplos modelos e métodos em multifísica e análise térmica
- ◆ Interpretar os resultados obtidos através de um adequado pós-processamento

“

*Atinja os objetivos mais exigentes com as ferramentas de simulação CFD mais inovadoras e práticas”*





## Objetivos específicos

---

### Módulo 1. Mecânica dos fluidos e computação de alto desempenho

- ◆ Identificar as equações de fluxos turbulentos
- ◆ Examinar o problema do fechamento
- ◆ Estabelecer os números sem dimensão necessários para a modelagem
- ◆ Analisar as principais técnicas de CFD
- ◆ Examinar as principais técnicas experimentais
- ◆ Conhecer o desenvolvimento dos diferentes tipos de supercomputadores
- ◆ Mostrar o futuro: GPU

### Módulo 2. Matemática avançada de CFD

- ◆ Desenvolver os conceitos matemáticos de turbulência
- ◆ Gerar conhecimento especializado sobre a aplicação de estatísticas a fluxos turbulentos
- ◆ Fundamentar o método de solução de equações de CFD
- ◆ Mostrar os métodos de solução de problemas de álgebra
- ◆ Analisar o método de múltiplas grades
- ◆ Examinar o uso de valores e vetores próprios em problemas de CFD
- ◆ Determinar os métodos de solução de problemas não lineares

### Módulo 3. CFD em ambientes de pesquisa e modelagem

- ◆ Analisar o futuro da inteligência artificial em turbulência
- ◆ Aplicar métodos clássicos de discretização a problemas de Mecânica de Fluidos
- ◆ Determinar as diferentes estruturas turbulentas e sua importância
- ◆ Mostrar o método de características
- ◆ Apresentar o efeito da evolução da supercomputação nos problemas de CFD
- ◆ Examinar as principais questões em aberto sobre turbulência

#### **Módulo 4. CFD em ambientes de aplicação: métodos de volume finito**

- ◆ Analisar o ambiente FEM ou MVF
- ◆ Especificar o que, onde e como as condições de limite podem ser definidas
- ◆ Determinar possíveis etapas de tempo
- ◆ Elaborar e desenvolver esquemas de Upwind
- ◆ Desenvolver esquemas de ordem superior
- ◆ Examinar os loops de convergência e em que casos usar cada um deles
- ◆ Expor imperfeições nos resultados de CFD

#### **Módulo 5. Métodos Avançados para CFD**

- ◆ Desenvolver o Método dos Elementos Finitos e o Método da Hidrodinâmica de Partículas Suavizadas
- ◆ Analisar as vantagens dos métodos lagrangianos em relação aos eulerianos, especialmente, SPH x FVM
- ◆ Analisar o método de Simulação Direta de Monte Carlo e o Método de Lattice-Boltzmann
- ◆ Avaliar e interpretar simulações de aerodinâmica espacial e microfluidodinâmica
- ◆ Estabelecer as vantagens e desvantagens do LBM em relação ao método tradicional FVM

#### **Módulo 6. Modelagem de turbulência em fluidos**

- ◆ Aplicar o conceito de ordens de magnitude
- ◆ Introduzir o problema de fechamento das equações de Navier-Stokes
- ◆ Examinar as equações de orçamento de energia
- ◆ Desenvolver o conceito de viscosidade turbulenta
- ◆ Fundamentar os vários tipos de RANS e LES
- ◆ Apresentar as regiões de fluxo turbulento
- ◆ Modelar a equação de energia

#### **Módulo 7. Fluidos compressíveis**

- ◆ Desenvolver as principais diferenças entre o fluxo compressível e o incompressível
- ◆ Examinar exemplos típicos da ocorrência de fluidos compressíveis
- ◆ Identificar as particularidades da solução de equações diferenciais hiperbólicas
- ◆ Estabelecer a metodologia básica para resolver o problema de Riemann
- ◆ Compilar diferentes estratégias de resolução
- ◆ Analisar os prós e contras de diferentes métodos
- ◆ Apresentar a aplicabilidade dessas metodologias às equações de Euler/Navier-Stokes, mostrando exemplos clássicos

#### **Módulo 8. Fluxo multifásico**

- ◆ Distinguir que tipo de fluxo multifásico será simulado: fases contínuas, como simular um barco no mar, um meio contínuo; fases discretas, como simular trajetórias de gotas concretas e utilizar populações estatísticas quando o número de partículas, gotas ou bolhas for muito elevado para ser simulado
- ◆ Estabelecer a diferença entre os métodos Lagrangiano, Euleriano e Misto
- ◆ Determinar as ferramentas mais adequadas para o tipo de fluxo a ser simulado
- ◆ Modelar os efeitos da tensão superficial e das mudanças de fase, como evaporação, condensação ou captação
- ◆ Desenvolver condições de limite para a simulação de ondas, aprender sobre os diferentes modelos de ondas e aplicar a chamada praia numérica, uma região do domínio localizada na saída cujo objetivo é evitar a reflexão das ondas



### Módulo 9. Modelagem avançada de CFD

- ◆ Diferenciar o tipo de interação física que será simulada: fluido-estrutura, como uma asa sujeita a forças aerodinâmicas, fluido acoplado à dinâmica de corpos rígidos, como a simulação do movimento de uma boia flutuando no mar, ou termofluido, como a simulação da distribuição de temperatura em um sólido sujeito a correntes de ar
- ◆ Distinguir os esquemas de troca de dados mais comuns entre diferentes softwares de simulação e quando é possível ou melhor aplicar um ou outro
- ◆ Examinar os diferentes modelos de transferência de calor e como podem afetar um fluido
- ◆ Modelar fenômenos de convecção, radiação e difusão sob o ponto de vista de fluidos; modelar a criação de som por um fluido, simular com termos de advecção-difusão para simular meios contínuos ou de partículas e fluxos reativos

### Módulo 10 . Pós-Processamento, Validação e Aplicação em CFD

- ◆ Determinar os tipos de pós-processamento de acordo com os resultados a serem analisados: puramente numéricos, visuais ou uma combinação de ambos
- ◆ Analisar a convergência de uma simulação CFD
- ◆ Estabelecer a necessidade de realizar uma validação CFD e conhecer alguns de seus exemplos básicos
- ◆ Examinar as diferentes ferramentas disponíveis no mercado
- ◆ Fundamentar o contexto atual da simulação CFD

# 03

# Competências

Este Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos foi desenvolvido por especialistas da área, que buscam fornecer aos alunos as habilidades necessárias para enfrentar um futuro profissional bem-sucedido nesse setor. Assim, o aluno poderá resolver qualquer situação que possa enfrentar, graças ao material didático mais completo e atualizado, bem como à disponibilidade das mais recentes tecnologias de ensino.





“

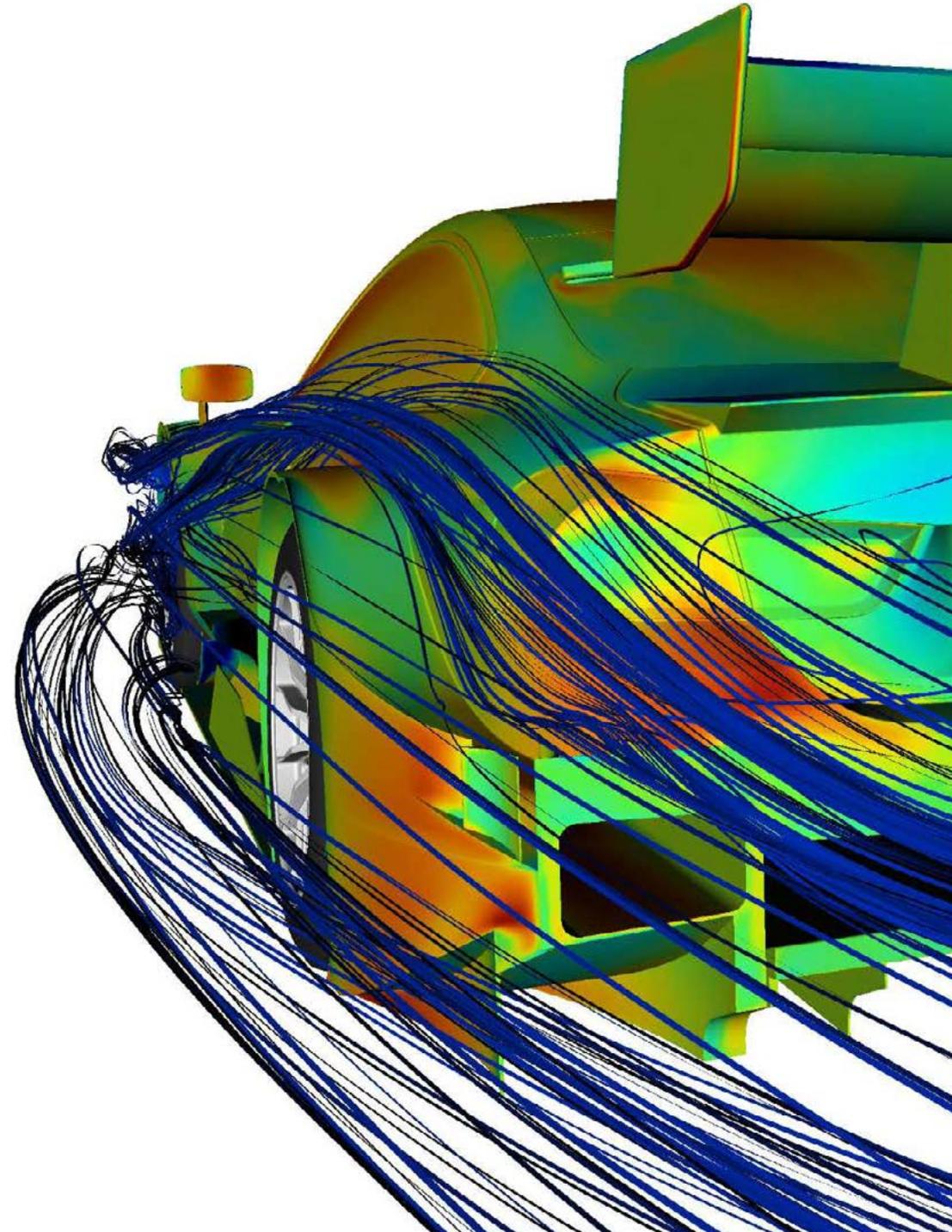
*Você poderá se posicionar no mercado de trabalho como um especialista em Mecânica dos Fluidos Computacional em apenas alguns meses”*



## Competências gerais

---

- ◆ Conhecer as principais técnicas de supercomputação
- ◆ Identificar e definir o conceito de resíduo
- ◆ Diferenciar entre diversas estruturas turbulentas
- ◆ Configurar de forma ideal cada simulação
- ◆ Obter conhecimento especializado em técnicas de cálculo de Mecânica dos Fluidos
- ◆ Modelar a equação de energia
- ◆ Identificar os principais métodos numéricos para resolver o problema de Riemann
- ◆ Escolher o tipo de simulação ou modelo a ser aplicado que melhor se adapte ao contexto e identifique os prós e contras de cada método
- ◆ Combinar várias estratégias para obter os melhores resultados onde eles são mais necessários
- ◆ Interpretar os resultados obtidos através de um adequado pós-processamento





## Competências específicas

---

- ◆ Conhecer o desenvolvimento dos diferentes tipos de supercomputadores
- ◆ Determinar os métodos de solução de problemas não lineares
- ◆ Aplicar métodos clássicos de discretização a problemas de Mecânica de Fluidos
- ◆ Especificar o que, onde e como as condições de limite podem ser definidas
- ◆ Avaliar e interpretar simulações de aerodinâmica espacial e microfluidodinâmica
- ◆ Introduzir o problema de fechamento das equações de Navier-Stokes
- ◆ Compilar diferentes estratégias de resolução
- ◆ Estabelecer a diferença entre os métodos Lagrangiano, Euleriano e Misto
- ◆ Distinguir os esquemas de troca de dados mais comuns entre diferentes softwares de simulação e quando é possível ou melhor aplicar um ou outro
- ◆ Conhecer as diferentes ferramentas disponíveis no mercado

“

*Aprofunde-se ainda mais em áreas como pós-processamento, validação e aplicação em CFD, aproveitando ao máximo todo o vasto material disponível no nosso Campus Virtual”*

# 04

## Direção do curso

No intuito de oferecer uma educação de qualidade para todos, a TECH criou uma equipe com os melhores especialistas em Mecânica dos Fluidos Computacional. Esses especialistas elaboraram os conteúdos com base em sua notável experiência e extensa trajetória profissional, com o objetivo de fornecer aos alunos as melhores habilidades e o mais completo conhecimento de Simulação CFD.



“

*A equipe de especialistas da TECH elaborou este programa de CFD para ajudar você a atingir suas metas de carreira mais ambiciosas em um curto período de tempo"*

## Direção



### Dr. José Pedro García Galache

- ♦ Engenheiro de Desenvolvimento em XFlow na Dassault Systèmes
- ♦ Doutor em Engenharia Aeronáutica pela Universidade Politécnica de Valência
- ♦ Formado em Engenharia Aeronáutica pela Universidade Politécnica de Valência
- ♦ Mestrado em Pesquisa em Mecânica de Fluidos pelo Von Kármán Institute for Fluid Dynamics
- ♦ Short Training Programme no Von Kármán Institute for Fluid Dynamics

## Professores

### Dr. Daniel Espinoza Vásquez

- ♦ Consultor Autônomo em CFD e programação
- ♦ Especialista em CFD na Particle Analytics Ltd.
- ♦ Assistente de Pesquisa na Universidade de Strathclyde
- ♦ Assistente de Ensino em Mecânica dos Fluidos, Universidade de Strathclyde
- ♦ Doutor em Engenharia Aeronáutica pela Universidade de Strathclyde
- ♦ Mestrado em Mecânica dos Fluidos Computacional pela Cranfield University
- ♦ Formado em Engenharia Aeronáutica pela Universidade Politécnica de Madrid



### **Sr. Enrique Mata Bueso**

- ◆ Engenheiro Sênior de Condicionamento Térmico e Aerodinâmica na Siemens Gamesa
- ◆ Engenheiro de Aplicação e Gestor de P&D em CFD na Dassault Systèmes
- ◆ Engenheiro de Condicionamento Térmico e Aerodinâmica na Gamesa-Altran
- ◆ Engenheiro de Fadiga e Tolerância a Danos na Airbus-Atos
- ◆ Engenheiro de CFD de P&D na UPM
- ◆ Engenheiro Técnico Aeronáutico com especialização em Aeronaves pela UPM
- ◆ Mestrado em Engenharia Aeroespacial pelo Royal Institute of Technology de Estocolmo

### **Sra. Maider Pérez Tainta**

- ◆ Engenheira de Fluidificação de Cimento na Kemex Ingesoa
- ◆ Engenheira de Processos na J.M. Jauregui
- ◆ Pesquisadora em Combustão de Hidrogênio na Ikerlan
- ◆ Engenheira Mecânica na Idom
- ◆ Formada em Engenharia Mecânica pela Universidade do País Basco (UPV)
- ◆ Mestrado em Engenharia Mecânica
- ◆ Mestrado em Mecânica de Fluidos
- ◆ Curso de Programação em Python

# 05

## Estrutura e conteúdo

A estrutura e o conteúdo desse programa da TECH foram elaborados por profissionais que compõem a equipe de especialistas em Mecânica dos Fluidos Computacional. Esses professores aplicaram sua experiência e conhecimento nos materiais a fim de garantir um plano de estudos que atenda às mais altas expectativas. Tudo isso se baseia nos fundamentos da mais eficiente metodologia de ensino, o *Relearning*, no qual a TECH é pioneira.



“

*O conteúdo mais atualizado e completo,  
com o qual você poderá adaptar seu perfil  
profissional às últimas tendências em CFD”*

## Módulo 1. Mecânica dos fluidos e computação de alto desempenho

- 1.1. Dinâmica de Mecânica dos Fluidos Computacional
  - 1.1.1. A origem da Turbulência
  - 1.1.2. A necessidade de modelagem
  - 1.1.3. Processo de trabalho em CFD
- 1.2. As equações da Mecânica dos Fluidos
  - 1.2.1. A equação de continuidade
  - 1.2.2. Equação de Navier-Stokes
  - 1.2.3. A equação de energia
  - 1.2.4. As equações médias de Reynolds
- 1.3. O problema do fechamento das equações
  - 1.3.1. A hipótese de Boussinesq
  - 1.3.2. Viscosidade turbulenta em um spray
  - 1.3.3. Modelagem em CFD
- 1.4. Números adimensionais e similaridade dinâmica
  - 1.4.1. Números adimensionais em mecânica dos fluidos
  - 1.4.2. O princípio da similaridade dinâmica
  - 1.4.3. Exemplo prático: modelagem em túnel de vento
- 1.5. A Modelagem da Turbulência
  - 1.5.1. Simulações numéricas diretas
  - 1.5.2. Simulações de grandes redemoinhos
  - 1.5.3. Métodos RANS
  - 1.5.4. Outros métodos
- 1.6. Técnicas experimentais
  - 1.6.1. PIV
  - 1.6.2. Fio quente
  - 1.6.3. Túneis de vento e água

- 1.7. Ambientes de supercomputadores
  - 1.7.1. Supercomputação do futuro
  - 1.7.2. Manejo de um Supercomputador
  - 1.7.3. Ferramentas de uso
- 1.8. Software em arquiteturas paralelas
  - 1.8.1. Ambientes distribuídos: MPI
  - 1.8.2. Memória compartilhada: GPU
  - 1.8.3. Gravação de dados: HDF5:
- 1.9. *Grid Computing*
  - 1.9.1. Descrição de fazendas de computadores
  - 1.9.2. Problemas paramétricos
  - 1.9.3. Sistemas de filas em Grid Computing
- 1.10. GPUs, o futuro da CFD
  - 1.10.1. Ambiente GPU
  - 1.10.2. Programação em GPU
  - 1.10.3. Exemplo prático: inteligência artificial em fluidos usando GPUs

## Módulo 2. Matemática avançada de CFD

- 2.1. Fundamentos matemáticos
  - 2.1.1. Gradientes, divergências e rotações. Derivada total
  - 2.1.2. Equações diferenciais ordinárias
  - 2.1.3. Equações de derivadas parciais
- 2.2. Estatística
  - 2.2.1. Médias e momentos
  - 2.2.2. Funções de densidade de probabilidade
  - 2.2.3. Correlação e espectros de energia
- 2.3. Soluções fortes e fracas de uma equação diferencial
  - 2.3.1. Base de funções. Soluções fortes e fracas
  - 2.3.2. O método do volume finito. A equação de calor
  - 2.3.3. O método do volume finito. Navier-Stokes

- 2.4. Teorema de Taylor e discretização no tempo e no espaço
  - 2.4.1. Diferenças finitas em uma dimensão. Ordem de erro
  - 2.4.2. Diferenças finitas em 2 dimensões
  - 2.4.3. De equações contínuas a equações algébricas
- 2.5. Resolução de problemas algébricos, método LU
  - 2.5.1. Métodos de resolução de problemas algébricos
  - 2.5.2. O método LU em matrizes completas
  - 2.5.3. O método LU em matrizes esparsas
- 2.6. Resolução de problemas algébricos, métodos iterativos I
  - 2.6.1. Métodos iterativos. Resíduos
  - 2.6.2. Método de Jacobi
  - 2.6.3. Generalização do método de Jacobi
- 2.7. Resolução de problemas algébricos, métodos iterativos II
  - 2.7.1. Métodos de múltiplas malhas: Ciclo em V: interpolação
  - 2.7.2. Métodos de múltiplas malhas: Ciclo em V: extrapolado
  - 2.7.3. Métodos de múltiplas malhas: Ciclo em W
  - 2.7.4. Estimativa de erro
- 2.8. Valores e vetores próprios
  - 2.8.1. O problema algébrico
  - 2.8.2. Aplicação à equação de calor
  - 2.8.3. Estabilidade de equações diferenciais
- 2.9. Equações de evolução não lineares
  - 2.9.1. Equação de calor: métodos explícitos
  - 2.9.2. Equação de calor: métodos implícitos
  - 2.9.3. Equação de calor: métodos Runge-Kutta
- 2.10. Equações estacionárias não lineares
  - 2.10.1. O método de Newton-Raphson
  - 2.10.2. Aplicação em 1D
  - 2.10.3. Aplicação em 2D

### Módulo 3. CFD em ambientes de pesquisa e modelagem

- 3.1. Pesquisa de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)
  - 3.1.1. Desafios na turbulência
  - 3.1.2. Avanços em RANS
  - 3.1.3. Inteligência artificial
- 3.2. Diferenças finitas
  - 3.2.1. Apresentação e aplicação em problemas 1D. Teorema de Taylor
  - 3.2.2. Aplicação em 2D
  - 3.2.3. Condições de contorno
- 3.3. Diferenças finitas compactas
  - 3.3.1. Objetivo. O artigo de SK Lele
  - 3.3.2. Obtendo os coeficientes
  - 3.3.3. Aplicação a um problema 1D
- 3.4. A transformada de Fourier
  - 3.4.1. A transformada de Fourier. De Fourier aos nossos dias
  - 3.4.2. O pacote FFTW
  - 3.4.3. Transformada de cosseno: Tchebycheff
- 3.5. Método espectral
  - 3.5.1. Aplicação a um problema de fluidos
  - 3.5.2. Métodos pseudoespectrais: Fourier + CFD
  - 3.5.3. Métodos de colocação
- 3.6. Métodos avançados de discretização de tempo
  - 3.6.1. O método Adams-Bamford
  - 3.6.2. O método Crank-Nicolson
  - 3.6.3. O método Runge-Kutta
- 3.7. Estruturas em turbulência
  - 3.7.1. O vórtice
  - 3.7.2. O ciclo de vida de uma estrutura turbulenta
  - 3.7.3. Técnicas de visualização

- 3.8. O método das características
  - 3.8.1. Fluidos compressíveis
  - 3.8.2. Aplicação: uma onda quebrando
  - 3.8.3. Aplicação: a equação de Burgers
- 3.9. CFD e supercomputação
  - 3.9.1. O problema da memória e a evolução dos computadores
  - 3.9.2. Técnicas de paralelização
  - 3.9.3. Decomposição de domínios
- 3.10. Problemas abertos em turbulência
  - 3.10.1. Modelagem e a constante de von Kármán Volumes finitos
  - 3.10.2. Aerodinâmica: camadas limite
  - 3.10.3. Ruído em problemas de CFD

#### Módulo 4. CFD em ambientes de aplicação: Método do volume finito

- 4.1. Métodos de volume finito
  - 4.1.1. Definições em FVM
  - 4.1.2. Antecedentes históricos
  - 4.1.3. MVF em estruturas
- 4.2. Termos de origem
  - 4.2.1. Forças volumétricas externas
    - 4.2.1.1. Gravidade e força centrífuga
  - 4.2.2. Termos de fonte volumétrica (massa) e de pressão (evaporação, cavitação e química)
  - 4.2.3. Termo de fonte escalar
    - 4.2.3.1. Temperatura e espécies
- 4.3. Aplicações das condições de contorno
  - 4.3.1. Entradas e saídas
  - 4.3.2. Condição de simetria
  - 4.3.3. Condição da parede
    - 4.3.3.1. Valores impostos
    - 4.3.3.2. Valores a serem resolvidos por cálculo paralelo
    - 4.3.3.3. Modelos de parede



- 4.4. Condições de contorno
  - 4.4.1. Condições de contorno conhecidas: Dirichlet
    - 4.4.1.1. Escalares
    - 4.4.1.2. Vetoriais
  - 4.4.2. Condições de limite com derivada conhecida: Neumann
    - 4.4.2.1. Gradiente zero
    - 4.4.2.2. Gradiente finito
  - 4.4.3. Condições de contorno cíclicas: Born-von Kármán
  - 4.4.4. Outras condições de contorno: Robin
- 4.5. Integração temporária
  - 4.5.1. Euler explícito e implícito
  - 4.5.2. Etapa de tempo de Lax-Wendroff e variantes (Richtmyer e MacCormack)
  - 4.5.3. Etapa de tempo de vários estágios Runge-Kutta
- 4.6. Esquemas *Upwind*
  - 4.6.1. Problema de Riemann
  - 4.6.2. Principais esquemas *Upwind*: MUSCL, Van Leer, Roe e AUSM
  - 4.6.3. Projeto de um esquema espacial *Upwind*
- 4.7. Esquemas de alta ordem
  - 4.7.1. Galerkin descontínuo de alta ordem
  - 4.7.2. ENO e WENO
  - 4.7.3. Esquemas de alta ordem - vantagens e desvantagens
- 4.8. Loop de convergência de pressão-velocidade
  - 4.8.1. PISO
  - 4.8.2. SIMPLE, SIMPLER y SIMPLEC
  - 4.8.3. PIMPLE
  - 4.8.4. Loops transitórios

- 4.9. Contornos móveis
  - 4.9.1. Técnicas de sobreposição
  - 4.9.2. Mapeamento: sistema de referência móvel
  - 4.9.3. *Método do limite imerso*
  - 4.9.4. Malhas sobrepostas
- 4.10. Erros e incertezas na modelagem CFD
  - 4.10.1. Precisão e exatidão
  - 4.10.2. Erros numéricos
  - 4.10.3. Incertezas de modelos físicos e de entrada

## Módulo 5. Métodos Avançados para CFD

- 5.1. Método dos Elementos Finitos (MEF)
  - 5.1.1. Discretização do domínio. O elemento finito
  - 5.1.2. Funções de forma. Reconstrução do campo contínuo
  - 5.1.3. Montagem da matriz de coeficientes e condições de contorno
  - 5.1.4. Resolução do sistema de equações
- 5.2. MEF: Caso prático. Desenvolvimento de um simulador MEF
  - 5.2.1. Funções de forma
  - 5.2.2. Montagem da matriz de coeficientes e aplicação de condições de contorno
  - 5.2.3. Resolução do sistema de equações
  - 5.2.4. Pós-processo
- 5.3. Hidrodinâmica de Partículas Suavizadas (SPH) - "Smoothed Particle Hydrodynamics"
  - 5.3.1. Mapeamento do campo fluido a partir dos valores das partículas
  - 5.3.2. Avaliação de derivadas e interação entre partículas
  - 5.3.3. A função de suavização. O kernel
  - 5.3.4. Condições de contorno
- 5.4. SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics): Desenvolvimento de um simulador baseado em SPH
  - 5.4.1. O kernel
  - 5.4.2. Armazenamento e ordenação das partículas em voxels
  - 5.4.3. Desenvolvimento das condições de contorno
  - 5.4.4. Pós-processo

- 5.5. Simulação Direta de Montecarlo (DSMC - Direct Simulation Monte Carlo)
  - 5.5.1. Teoria cinético-molecular
  - 5.5.2. Mecânica estatística
  - 5.5.3. Equilíbrio molecular
- 5.6. DSMC: Metodologia
  - 5.6.1. Aplicabilidade do método DSMC
  - 5.6.2. Modelização
  - 5.6.3. Considerações sobre a aplicabilidade do método
- 5.7. DSMC: aplicações
  - 5.7.1. Exemplo em 0-D: relaxamento térmico
  - 5.7.2. Exemplo 1-D: onda de choque normal
  - 5.7.3. Exemplo 2-D: cilindro supersônico
  - 5.7.4. Exemplo em 3D: canto supersônico
  - 5.7.5. Exemplo complexo: Space Shuttle
- 5.8. Método de Lattice-Boltzmann (LBM)
  - 5.8.1. Equação de Boltzmann e distribuição do equilíbrio
  - 5.8.2. De Boltzmann para Navier-Stokes. Expansão de Chapman-Enskog
  - 5.8.3. De distribuição probabilística para magnitude física
  - 5.8.4. Conversão de unidades. De magnitudes físicas para magnitudes de lattice
- 5.9. LBM: aproximação numérica
  - 5.9.1. O algoritmo LBM. Passo de transferência e passo de colisão
  - 5.9.2. Operadores de colisão e normalização de momentos
  - 5.9.3. Condições de contorno
- 5.10. LBM: estudo de caso
  - 5.10.1. Desenvolvimento de um simulador baseado em LBM
  - 5.10.2. Experimentação com vários operadores de colisão
  - 5.10.3. Experimentação com vários modelos de turbulência

## Módulo 6. Modelagem de turbulência em fluidos

- 6.1. Turbulência. Principais características
  - 6.1.1. Dissipação e difusividade
  - 6.1.2. Escalas características. Ordens de magnitude
  - 6.1.3. Números de Reynolds
- 6.2. Definições de turbulência. De Reynolds aos nossos dias
  - 6.2.1. O problema de Reynolds. A camada limite
  - 6.2.2. Meteorologia, Richardson e Smagorinsky
  - 6.2.3. O problema do caos
- 6.3. A cascata de energia
  - 6.3.1. As menores escalas de turbulência
  - 6.3.2. A hipótese de Kolmogorov
  - 6.3.3. O expoente da cascata
- 6.4. O problema do fechamento revisitado
  - 6.4.1. 10 incógnitas e 4 equações
  - 6.4.2. A equação da energia cinética turbulenta
  - 6.4.3. O ciclo da turbulência
- 6.5. Viscosidade turbulenta
  - 6.5.1. Antecedentes históricos e paralelismo
  - 6.5.2. Problema de iniciação: jatos
  - 6.5.3. Viscosidade turbulenta em problemas de CFD
- 6.6. Métodos RANS
  - 6.6.1. A hipótese da viscosidade turbulenta
  - 6.6.2. As equações RANS
  - 6.6.3. Métodos RANS Exemplos de uso
- 6.7. A evolução de LES
  - 6.7.1. Antecedentes históricos
  - 6.7.2. Filtros espectrais
  - 6.7.3. Filtros espaciais. O problema na parede

- 6.8. Turbulência na parede I
  - 6.8.1. Escalas de características
  - 6.8.2. As equações de momento
  - 6.8.3. As regiões de um fluxo de parede turbulento
- 6.9. Turbulência de parede II
  - 6.9.1. Camadas limite
  - 6.9.2. Números adimensionais de uma camada limite
  - 6.9.3. A solução Blasius
- 6.10. A equação de energia
  - 6.10.1. Escalares passivos
  - 6.10.2. Escalares ativos. A abordagem Boussinesq
  - 6.10.3. Fluxos de Fanno e Rayleigh

## Módulo 7. Fluidos compressíveis

- 7.1. Fluidos compressíveis
  - 7.1.1. Fluidos compressíveis e fluidos incompressíveis. Diferenças
  - 7.1.2. Equação de estado
  - 7.1.3. Equações diferenciais de fluidos compressíveis
- 7.2. Exemplos práticos do regime compressível
  - 7.2.1. Ondas de choque
  - 7.2.2. Expansão de Prandtl-Meyer
  - 7.2.3. Bocais
- 7.3. Problema de Riemann
  - 7.3.1. O problema de Riemann
  - 7.3.2. Solução do problema de Riemann por características
  - 7.3.3. Sistemas não lineares: ondas de choque. Condição de Rankine-Hugoniot
  - 7.3.4. Sistemas não lineares: ondas e ventiladores de expansão. Condição de entropia
  - 7.3.5. Invariantes de Riemannian
- 7.4. Equações de Euler
  - 7.4.1. Invariantes das equações de Euler
  - 7.4.2. Variáveis conservadoras x Variáveis primitivas
  - 7.4.3. Estratégias de solução
- 7.5. Soluções para o problema de Riemann
  - 7.5.1. Solução exata
  - 7.5.2. Métodos numéricos conservadores
  - 7.5.3. Método de Godunov
  - 7.5.4. *Flux Vector Splitting*
- 7.6. Riemann *Solvers* aproximados
  - 7.6.1. HLLC
  - 7.6.2. Roe
  - 7.6.3. AUSM
- 7.7. Métodos de ordem superior
  - 7.7.1. Problemas de métodos de ordem superior
  - 7.7.2. *Limitadores* e métodos de TVD
  - 7.7.3. Exemplos práticos
- 7.8. Aspectos adicionais do problema de Riemann
  - 7.8.1. Equações não homogêneas
  - 7.8.2. *Divisão* dimensional
  - 7.8.3. Aplicações das equações de Navier-Stokes
- 7.9. Regiões com altos gradientes e descontinuidades
  - 7.9.1. Importância da malha
  - 7.9.2. Adaptação Automática de Malha (AMR)
  - 7.9.3. Métodos *Shock Fitting*
- 7.10. Aplicações de fluxo compressível
  - 7.10.1. Problema de Sod
  - 7.10.2. Cunha supersônica
  - 7.10.3. Bocal convergente-divergente

## Módulo 8. Fluxo multifásico

- 8.1. Regimes de fluxo
  - 8.1.1. Fase contínua
  - 8.1.2. Fase discreta
  - 8.1.3. Populações de fase discreta
- 8.2. Fases contínuas
  - 8.2.1. Propriedades da interface líquido-gás
  - 8.2.2. Cada fase é um domínio
    - 8.2.2.1. Resolução de fase de forma independente
  - 8.2.3. Solução acoplada
    - 8.2.3.1. Fração de fluido como um escalar descritivo da fase
  - 8.2.4. Reconstrução da interface líquido-gás
- 8.3. Simulação marinha
  - 8.3.1. Regimes de ondas. Altura da onda x Profundidade
  - 8.3.2. Condições de contorno de entrada. Simulação de ondas
  - 8.3.3. Condição de limite de saída não reflexiva. Praia numérica
  - 8.3.4. Condições de contorno laterais. Vento lateral e deriva
- 8.4. Tensão superficial
  - 8.4.1. Fenômeno físico da tensão superficial
  - 8.4.2. Modelagem
  - 8.4.3. Interação com superfícies. Ângulo de umedecimento
- 8.5. Mudança de fase
  - 8.5.1. Termos de fonte e sumidouro associados à mudança de fase
  - 8.5.2. Modelos de evaporação
  - 8.5.3. Modelos de condensação e precipitação. Nucleação de gotas
  - 8.5.4. Cavitação
- 8.6. Fase discreta: partículas, gotículas e bolhas
  - 8.6.1. Força de Resistência
  - 8.6.2. Força de flutuação
  - 8.6.3. Inércia
  - 8.6.4. Movimento browniano e efeitos de turbulência
  - 8.6.5. Outras forças





- 8.7. Interação com o fluido circundante
  - 8.7.1. Geração a partir de fases contínuas
  - 8.7.2. Arrasto aerodinâmico
  - 8.7.3. Interação com outras entidades, coalescência e ruptura
  - 8.7.4. Condições de contorno
- 8.8. Descrição estatística das populações de partículas. Pacotes
  - 8.8.1. Transporte de populações
  - 8.8.2. Condições de limite de populações
  - 8.8.3. Interações populacionais
  - 8.8.4. Estendendo a fase discreta às populações
- 8.9. Lâmina de água
  - 8.9.1. Hipótese da lâmina de água
  - 8.9.2. Equações e modelagem
  - 8.9.3. Termo de origem das partículas
- 8.10. Exemplo de aplicação com o OpenFOAM
  - 8.10.1. Descrição de uma problema industrial
  - 8.10.2. *Setup* e simulação
  - 8.10.3. Visualização e interpretação de resultados

## Módulo 9. Modelos Avançados em CFD

- 9.1. Multifísica
  - 9.1.1. Simulações multifísicas
  - 9.1.2. Tipos de sistemas
  - 9.1.3. Exemplos de aplicação
- 9.2. Cosimulação unidirecional
  - 9.2.1. Cosimulação unidirecional. Aspectos avançados
  - 9.2.2. Esquemas de troca de informações
  - 9.2.3. Aplicações
- 9.3. Cosimulação bidirecional
  - 9.3.1. Cosimulação bidirecional. Aspectos avançados
  - 9.3.2. Esquemas de troca de informações
  - 9.3.3. Aplicações

- 9.4. Transferência de calor por convecção
  - 9.4.1. Transferência de calor por convecção. Aspectos avançados
  - 9.4.2. Equações de transferência de calor convectivo
  - 9.4.3. Métodos de resolução de problemas de convecção
- 9.5. Transferência de calor por condução
  - 9.5.1. Transferência de calor por condução. Aspectos avançados
  - 9.5.2. Equações de transferência de calor condutivo
  - 9.5.3. Métodos de resolução de problemas de condução
- 9.6. Transferência de calor por radiação
  - 9.6.1. Transferência de Calor por Radiação. Aspectos avançados
  - 9.6.2. Equações de transferência de calor por radiação
  - 9.6.3. Métodos de resolução de problemas de radiação
- 9.7. Acoplamento sólido-fluido de calor
  - 9.7.1. Acoplamento sólido-fluido de calor
  - 9.7.2. Acoplamento térmico sólido-fluido
  - 9.7.3. CFD e MEF
- 9.8. Aeroacústica
  - 9.8.1. A aeroacústica computacional
  - 9.8.2. Analogias acústicas
  - 9.8.3. Métodos de resolução
- 9.9. Problemas de Advecção-difusão
  - 9.9.1. Problemas de Advecção-difusão
  - 9.9.2. Campos Escalares
  - 9.9.3. Métodos de partículas
- 9.10. Modelos de acoplamento com fluxo reativo
  - 9.10.1. Modelos de acoplamento com fluxo reativo. Aplicações
  - 9.10.2. Sistema de equações diferenciais. Resolvendo a reação química
  - 9.10.3. CHEMKIN
  - 9.10.4. Combustão: chama, faísca e índice de Wobbe
  - 9.10.5. Fluxos reativos em um regime não estacionário: hipótese de sistema quase estacionário
  - 9.10.6. Fluxos reativos em fluxos turbulentos
  - 9.10.7. Catalisadores

## Módulo 10. Pós-Processamento, Validação e Aplicação em CFD

- 10.1. Pós-processamento em CFD I
  - 10.1.1. Pós-processamento em Planos e Superfícies
    - 10.1.1.1. Pós-processamento em plano
    - 10.1.1.2. Pós-processamento em superfícies
- 10.2. Pós-processamento em CFD II
  - 10.2.1. Pós-processamento volumétrico
    - 10.2.1.1. Pós-processamento volumétrico I
    - 10.2.1.2. Pós-processamento volumétrico II
- 10.3. Software livre de pós-processamento em CFD
  - 10.3.1. Software livre de pós-processamento
  - 10.3.2. Paraview
  - 10.3.3. Exemplo de uso do Paraview
- 10.4. Convergência de simulações
  - 10.4.1. Convergência
  - 10.4.2. Convergência de malha
  - 10.4.3. Convergência numérica
- 10.5. Classificação de métodos
  - 10.5.1. Aplicações
  - 10.5.2. Tipos de fluidos
  - 10.5.3. Escalas
  - 10.5.4. Máquinas de cálculo
- 10.6. Validação de modelos
  - 10.6.1. Necessidade de verificação
  - 10.6.2. Simulação x Experimento
  - 10.6.3. Exemplos de validação
- 10.7. Métodos de simulação. Vantagens e desvantagens
  - 10.7.1. RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)
  - 10.7.2. LES (Large-Eddy Simulation) e DES (Detached-Eddy Simulation) e DNS (Direct Numerical Simulation)
  - 10.7.3. Outros métodos
  - 10.7.4. Vantagens e desvantagens

- 10.8. Exemplos de métodos e aplicações
  - 10.8.1. Caso de corpo sujeito a forças aerodinâmicas
  - 10.8.2. Caso térmico
  - 10.8.3. Caso multifásico
- 10.9. Boas Práticas de Simulação
  - 10.9.1. Importância das Boas Práticas
  - 10.9.2. Boas práticas
  - 10.9.3. Erros na simulação
- 10.10. Software comerciais e livres
  - 10.10.1. Software de FVM
  - 10.10.2. Software de outros métodos
  - 10.10.3. Vantagens e desvantagens
  - 10.10.4. Futuros da Simulação CFD

“*Acesse uma grande variedade de materiais adicionais no Campus Virtual e amplie seu conhecimento nos aspectos que mais lhe interessam na simulação CFD*”



06

# Metodologia

Este curso oferece uma maneira diferente de aprender. Nossa metodologia é desenvolvida através de um modo de aprendizagem cíclico: **o Relearning**. Este sistema de ensino é utilizado, por exemplo, nas faculdades de medicina mais prestigiadas do mundo e foi considerado um dos mais eficazes pelas principais publicações científicas, como o **New England Journal of Medicine**.



“

*Descubra o Relearning, um sistema que abandona a aprendizagem linear convencional para realizá-la através de sistemas de ensino cíclicos: uma forma de aprendizagem que se mostrou extremamente eficaz, especialmente em disciplinas que requerem memorização"*

## Estudo de caso para contextualizar todo o conteúdo

Nosso programa oferece um método revolucionário para desenvolver as habilidades e o conhecimento. Nosso objetivo é fortalecer as competências em um contexto de mudança, competitivo e altamente exigente.

“

*Com a TECH você irá experimentar uma forma de aprender que está revolucionando as bases das universidades tradicionais em todo o mundo”*



*Você terá acesso a um sistema de aprendizagem baseado na repetição, por meio de um ensino natural e progressivo ao longo de todo o programa.*



*Através de atividades de colaboração e casos reais, o aluno aprenderá a resolver situações complexas em ambientes reais de negócios.*

## Um método de aprendizagem inovador e diferente

Este curso da TECH é um programa de ensino intensivo, criado do zero, que propõe os desafios e decisões mais exigentes nesta área, em âmbito nacional ou internacional. Através desta metodologia, o crescimento pessoal e profissional é impulsionado em direção ao sucesso. O método do caso, técnica que constitui a base deste conteúdo, garante que a realidade econômica, social e profissional mais atual seja adotada.

“

*Nosso programa prepara você para enfrentar novos desafios em ambientes incertos e alcançar o sucesso na sua carreira”*

O método do caso é o sistema de aprendizagem mais utilizado nas principais escolas de Informática do mundo, desde que elas existem. Desenvolvido em 1912 para que os estudantes de Direito não aprendessem a lei apenas com base no conteúdo teórico, o método do caso consistia em apresentar-lhes situações realmente complexas para que tomassem decisões conscientes e julgassem a melhor forma de resolvê-las. Em 1924 foi estabelecido como o método de ensino padrão em Harvard.

Em uma determinada situação, o que um profissional deveria fazer? Esta é a pergunta que abordamos no método do caso, um método de aprendizagem orientado para a ação. Ao longo do curso, os alunos vão se deparar com múltiplos casos reais. Terão que integrar todo o conhecimento, pesquisar, argumentar e defender suas ideias e decisões.

## Metodologia Relearning

A TECH utiliza de maneira eficaz a metodologia do estudo de caso com um sistema de aprendizagem 100% online, baseado na repetição, combinando elementos didáticos diferentes em cada aula.

Potencializamos o Estudo de Caso com o melhor método de ensino 100% online: o Relearning.

*Em 2019 alcançamos os melhores resultados de aprendizagem entre todas as universidades online do mundo.*

Na TECH você aprenderá através de uma metodologia de vanguarda, desenvolvida para capacitar os profissionais do futuro. Este método, na vanguarda da pedagogia mundial, se chama Relearning.

Nossa universidade é uma das únicas que possui a licença para usar este método de sucesso. Em 2019 conseguimos melhorar os níveis de satisfação geral dos nossos alunos (qualidade de ensino, qualidade dos materiais, estrutura dos curso, objetivos, entre outros) com relação aos indicadores da melhor universidade online.



No nosso programa, a aprendizagem não é um processo linear, ela acontece em espiral (aprender, desaprender, esquecer e reaprender). Portanto, combinamos cada um desses elementos de forma concêntrica. Esta metodologia já capacitou mais de 650 mil universitários com um sucesso sem precedentes em campos tão diversos como a bioquímica, a genética, a cirurgia, o direito internacional, habilidades administrativas, ciência do esporte, filosofia, direito, engenharia, jornalismo, história, mercados e instrumentos financeiros. Tudo isso em um ambiente altamente exigente, com um corpo discente com um perfil socioeconômico médio-alto e uma média de idade de 43,5 anos.

*O Relearning permitirá uma aprendizagem com menos esforço e mais desempenho, fazendo com que você se envolva mais em sua especialização, desenvolvendo o espírito crítico e sua capacidade de defender argumentos e contrastar opiniões: uma equação de sucesso.*

A partir das últimas evidências científicas no campo da neurociência, sabemos como organizar informações, ideias, imagens, memórias, mas sabemos também que o lugar e o contexto onde aprendemos algo é fundamental para nossa capacidade de lembrá-lo e armazená-lo no hipocampo, para mantê-lo em nossa memória a longo prazo.

Desta forma, no que se denomina Neurocognitive context-dependent e-learning, os diferentes elementos do nosso programa estão ligados ao contexto onde o aluno desenvolve sua prática profissional.



Neste programa, oferecemos o melhor material educacional, preparado especialmente para os profissionais:



#### Material de estudo

Todo o conteúdo foi criado especialmente para o curso pelos especialistas que irão ministrá-lo, o que faz com que o desenvolvimento didático seja realmente específico e concreto.

Posteriormente, esse conteúdo é adaptado ao formato audiovisual, para criar o método de trabalho online da TECH. Tudo isso, com as técnicas mais inovadoras que proporcionam alta qualidade em todo o material que é colocado à disposição do aluno.



#### Masterclasses

Há evidências científicas sobre a utilidade da observação de terceiros especialistas.

O "Learning from an expert" fortalece o conhecimento e a memória, além de gerar segurança para a tomada de decisões difíceis no futuro.



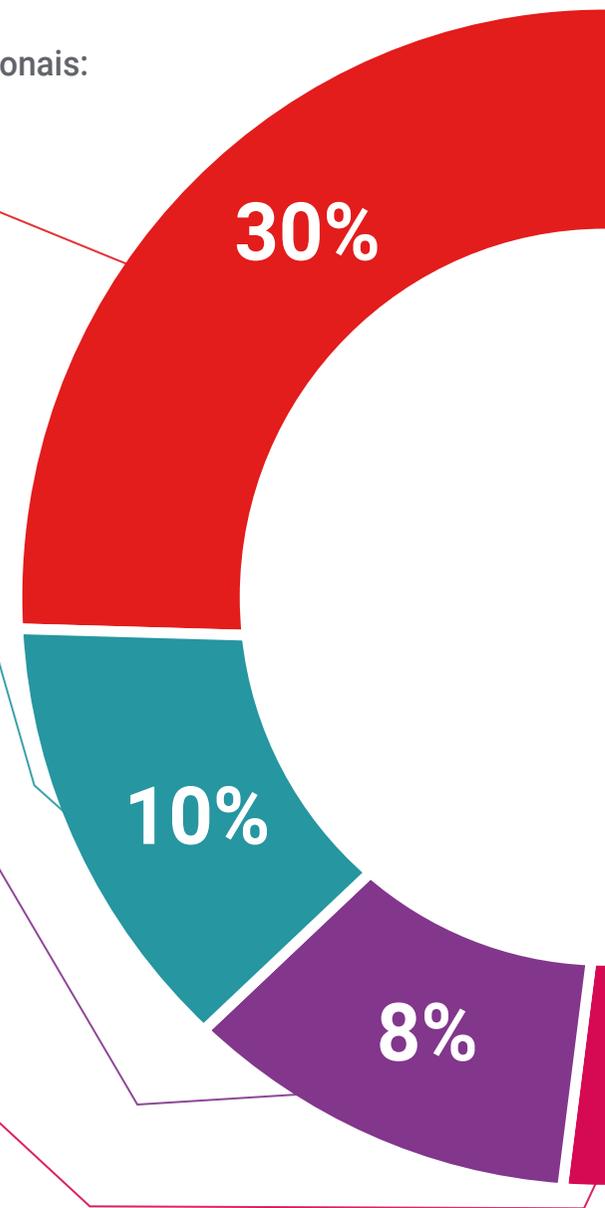
#### Práticas de habilidades e competências

Serão realizadas atividades para desenvolver competências e habilidades específicas em cada área temática. Práticas e dinâmicas para adquirir e ampliar as competências e habilidades que um especialista precisa desenvolver no contexto globalizado em que vivemos.



#### Leituras complementares

Artigos recentes, documentos de consenso e diretrizes internacionais, entre outros. Na biblioteca virtual da TECH o aluno terá acesso a tudo o que for necessário para complementar a sua capacitação.





#### Estudos de caso

Os alunos irão completar uma seleção dos melhores estudos de caso escolhidos especialmente para esta capacitação. Casos apresentados, analisados e orientados pelos melhores especialistas do cenário internacional.



#### Resumos interativos

A equipe da TECH apresenta o conteúdo de forma atraente e dinâmica através de pílulas multimídia que incluem áudios, vídeos, imagens, gráficos e mapas conceituais para consolidar o conhecimento.

Este sistema exclusivo de capacitação por meio da apresentação de conteúdo multimídia foi premiado pela Microsoft como "Caso de sucesso na Europa".



#### Testing & Retesting

Avaliamos e reavaliamos periodicamente o conhecimento do aluno ao longo do programa, através de atividades e exercícios de avaliação e autoavaliação, para que possa comprovar que está alcançando seus objetivos.



07

# Certificado

O Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos Computacional garante, além da capacitação mais rigorosa e atualizada, o acesso a um título de Mestrado Próprio emitido pela TECH Universidade Tecnológica.



“

*Conclua este programa de estudos  
com sucesso e receba o seu certificado  
sem sair de casa e sem burocracias”*

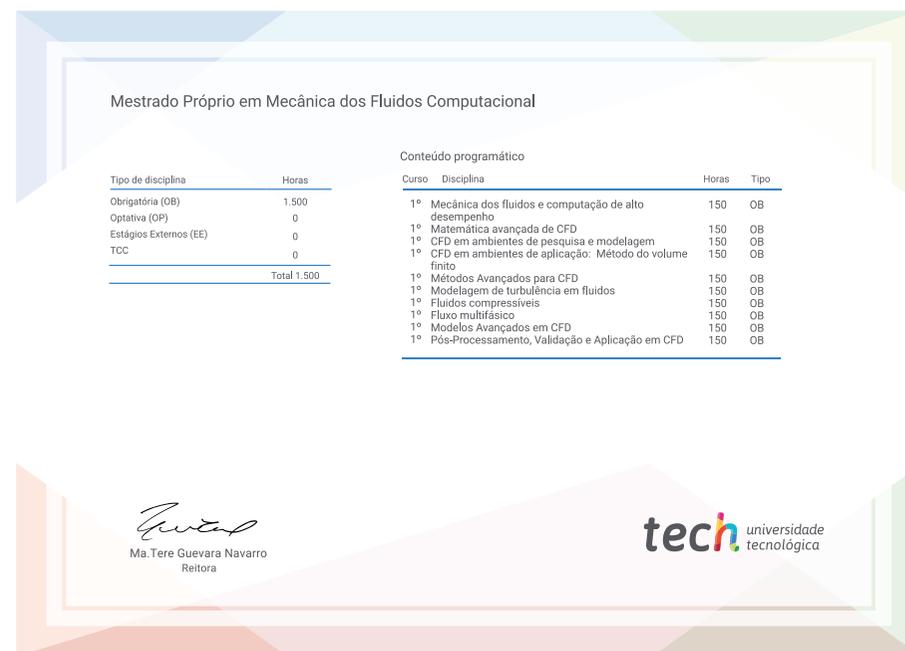
Este **Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos Computacional** conta com o conteúdo mais completo e atualizado do mercado.

Uma vez aprovadas as avaliações, o aluno receberá por correio o certificado\* correspondente ao título de **Mestrado Próprio** emitido pela **TECH Universidade Tecnológica**.

O certificado emitido pela **TECH Universidade Tecnológica** expressará a qualificação obtida no Mestrado Próprio, atendendo aos requisitos normalmente exigidos pelas bolsas de empregos, concursos públicos e avaliação de carreira profissional.

Título: **Mestrado Próprio em Mecânica dos Fluidos Computacional**

N.º de Horas Oficiais: **1.500h**



\*Apostila de Haia: Caso o aluno solicite que seu certificado seja apostilado, a TECH EDUCATION providenciará a obtenção do mesmo a um custo adicional.

futuro

saúde confiança pessoas

informação orientadores

educação certificação ensino

garantia aprendizagem

instituições tecnologia

comunidade comunidade

atenção personalizada

conhecimento inovação

presente qualidade

desenvolvimento

**tech** universidade  
tecnológica

**Mestrado Próprio**  
Mecânica dos Fluidos  
Computacional

- » Modalidade: online
- » Duração: 12 meses
- » Certificado: TECH Universidade Tecnológica
- » Dedicção: 16h/semana
- » Horário: no seu próprio ritmo
- » Provas: online

# Mestrado Próprio

## Mecânica dos Fluidos Computacional

